

Method for the detection of the alignment of a cylindrical body with respect to a reference direction

Patent Number: ☐ EP1092947, A3, B1
Publication date: 2001-04-18
Inventor(s): LYSEN HEINRICH (DE)
Applicant(s): BUSCH DIETER & CO PRUEFTECH (DE)
Requested Patent: ☐ DE19949834
Application Number: EP20000121608 20001002
Priority Number(s): DE19991049834 19991015
IPC Classification: G01B21/24; G01B11/27
EC Classification: G01B21/26
Equivalents:
Cited Documents: DE19710837; DE3911307

Abstract

The measurement procedure uses an optical gyroscope position sensor (14) with guide surfaces (16) to measure the direction (18) of the roller (10) when placed in two positions at different rotation angles on the curved surface of the roller.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2



①⑨ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 49 834 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 01 B 21/24
G 01 C 19/72

②① Aktenzeichen: 199 49 834.2
②② Anmeldetag: 15. 10. 1999
④③ Offenlegungstag: 19. 4. 2001

DE 199 49 834 A 1

⑦① Anmelder:
Prüftechnik Dieter Busch AG, 85737 Ismaning, DE

⑦④ Vertreter:
Schwan . Möbus . Wiese Patentanwälte, 81739
München

⑦② Erfinder:
Lysen, Heinrich, 85748 Garching, DE

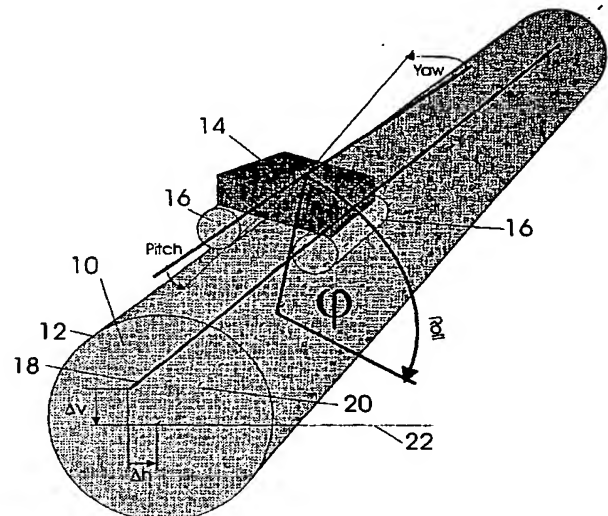
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 197 10 837 C1
DE 39 11 307 C2
DE 197 33 919 A1
DE 195 46 405 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zum Ermitteln der Ausrichtung eines zylindrischen Körpers bezüglich einer Referenzrichtung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln der Ausrichtung eines zylindrischen Körpers (10) bezüglich einer Referenzrichtung (18), wobei mittels einer Lage-
meßsonde (14), die auf die Referenzrichtung geeicht ist, in einer ersten Meßposition auf der Umfangsfläche (12) des Körpers eine erste Lagemessung durchgeführt wird und in mindestens einer zweiten Meßposition auf der Umfangsfläche des Körpers, die sich durch ihren Rotationswinkel (ϕ) in Umfangsrichtung bezüglich der Körperachse von der ersten Meßposition unterscheidet, eine zweite Lagemessung durchgeführt wird und aus den ermittelten Meßdaten die Ausrichtung des Körpers bezüglich der Referenzrichtung errechnet wird.



DE 199 49 834 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln der Ausrichtung eines zylindrischen Körpers, insbesondere einer Welle oder Walze, bezüglich einer Referenzrichtung, die insbesondere von einer anderen Walze oder Welle vorgegeben ist.

Aus DE 195 46 405 A1 ist ein Verfahren zum Parallelrichten von Wellen oder Walzen bekannt, wobei eine Lagemeßsonde verwendet wird, die mindestens einen optischen Kreisel umfaßt und mit einer Kontaktfläche zum definierten Ansetzen an den auszurichtenden Körper versehen ist, die aus zwei miteinander einen flachen Winkel einschließenden ebenen Flächenabschnitten besteht. Des weiteren ist die Lagemeßsonde mit einem doppelwirkenden Inklinometer zum Feststellen der Winkelposition der Lagemeßsonde bezüglich der Vertikalen versehen. Bei der Ermittlung der Ausrichtung zweier Körper zueinander wird so vorgegangen, daß zunächst mittels Ansetzen der Lagemeßsonde an den ersten Körper in einer vorgegebenen ersten Meßebe eine Referenzposition ermittelt wird und anschließend innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne nach der Referenzpositionsermittlung die Lage des zweiten Körpers in einer mit der ersten Meßebe übereinstimmenden oder zu dieser parallelen Ebene mittels Ansetzen der Lagemeßsonde an den zweiten Körper ermittelt wird. Im Bedarfsfalle können weitere Lagemessungen dieser Art, d. h. Referenzpositionsermittlung am ersten Körper mit anschließender Lagemessung am zweiten Körper, in einer zweiten Meßebe durchgeführt werden, die mit der ersten Meßebe einen definierten Winkel, beispielsweise 90° , einschließt. Die jeweiligen Messungen erfolgen dadurch, daß die Lagemeßsonde, sofern es sich bei den auszurichtenden Körpern um Wellen oder Walzen handelt, an die Umfangsfläche derselben manuell angesetzt wird.

Aus DE 39 11 307 C2 ist ein Verfahren zum Feststellen, ob zwei hintereinander angeordnete Wellen hinsichtlich ihrer Mittelachse fluchten oder versetzt sind, bekannt, wobei auf zwei zu vermessenden Wellen etwa parallel zu deren Mittelachse starr ein Meßzeiger auf der einen Welle und ein Referenzelement auf der anderen Welle angebracht sind, die zusammen einen optoelektronischen Positionsdetektor bilden, der die Position eines zwischen den beiden Elementen reflektierten Lichtstrahls in einer Ebene als Meßwert ermittelt. Die Wellen werden in mindestens fünf verschiedene frei wählbare Meßwinkelpositionen, in denen die Messungen vorgenommen werden, gedreht, wobei die Meßsignale als Vektoren gleichen Ursprungs bzw. Wertepaare in einem Ebenenkoordinatensystem behandelt werden, wobei ferner mittels eines Rechners unter Anwendung von Optimierungsverfahren, insbesondere der Methode der kleinsten Fehlerquadrate, die Kenndaten desjenigen geometrischen Orts der Meßwerte berechnet werden, der sich bei Drehung der Wellen um 360° ergeben würde, und anhand der Kenndaten der so ermittelten Kurve unter Berücksichtigung der festgestellten Winkellagen und der bekannten Drehrichtung der Wellen beim Drehen in die Meßwinkelpositionen mittels des Rechners die räumliche Lage der Wellen zueinander ermittelt wird.

Bei zylindrischen Körpern mit großem Durchmesser ergibt sich aufgrund der praktischen Begrenzung der Abmessungen einer anzusetzenden Lagemeßsonde und der daraus resultierenden begrenzten Größe der Ansetz- bzw. Kontaktfläche der Lagemeßsonde das Problem, daß die Orientierung der Lagemeßsonde bezüglich einer Drehung um eine Achse, die senkrecht zu der Längsachse des zylindrischen Körpers und senkrecht zu der Umfangsfläche steht, durch die Geometrie der Umfangsfläche und der Kontaktfläche nicht mehr

sehr genau bestimmt ist, d. h. bei einer horizontal liegenden Walze ist beispielsweise bei Ansetzen der Lagemeßsonde auf die Oberseite der Walze zwar der Elevationswinkel der Lagemeßsonde durch den mechanischen Kontakt relativ genau bestimmt, nicht jedoch der Azimutwinkel. Um die Genauigkeit des Azimutwinkels der Lagemeßsonde in diesem Fall zu vergrößern, müßte der Abstand zwischen den beiden Ansetzkanten der Kontaktfläche und/oder deren Länge vergrößert werden, was jedoch praktisch aus Kosten- und Handlichkeitsgründen beschränkt ist.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Ermitteln der Ausrichtung eines zylindrischen Körpers bezüglich einer Referenzrichtung zu schaffen, das einfach und kostengünstig durchzuführen ist und dennoch ein Ergebnis mit hinreichender Genauigkeit auch für Körper mit sehr großem Durchmesser liefert.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren, wie es in Anspruch 1 definiert ist. Bei dieser erfindungsgemäßen Lösung ist vorteilhaft, daß durch die Berücksichtigung mindestens einer zweiten Meßposition auf der Umfangsfläche des Körpers mit einem anderen Rotationswinkel die Genauigkeit der Messung insgesamt auf einfache Weise verbessert wird.

Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Im folgenden ist die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert, wobei:

Fig. 1 schematisch eine perspektivische Ansicht einer Walze mit angesetzter Lagemeßsonde zeigt;

Fig. 2 schematisch eine Querschnittsansicht einer Walze mit angesetzter Lagemeßsonde in verschiedenen Meßpositionen zeigt;

Fig. 3 eine beispielhafte Auswertung von Meßergebnissen in Polarkoordinatendarstellung zeigt; und

Fig. 4 eine zu der Darstellung von **Fig. 3** alternative Darstellung zeigt.

In **Fig. 1** ist eine im wesentlichen horizontal liegende Walze **10** mit einer Umfangsfläche **12** dargestellt, auf deren Oberseite eine Lagemeßsonde **14** angesetzt ist, welche an ihrer Unterseite eine Kontaktfläche bzw. Ansetzfläche aufweist, die in der schematischen Darstellung von **Fig. 1** von zwei langgestreckten Zylindern **16** gebildet wird, die in einem bestimmten Abstand parallel zueinander angeordnet sind, so daß die Sonde **14** im wesentlichen über zwei parallele Linien in mechanischem Kontakt mit der Walzenumfangsfläche **12** steht. Vorzugsweise ist die Sonde **14** mit drei optischen Kreiseln versehen, z. B. faseroptischen Kreiseln, die jeweils einen optischen Ring bilden, wobei jeder optische Kreisel eine Drehung um eine Achse senkrecht zu der seiner Ringebene erfaßt. Zweckmäßigerweise stehen die drei Ringebenen aufeinander senkrecht.

Mit **18** ist in **Fig. 1** eine Referenzrichtung bezeichnet, bezüglich welcher die Ausrichtung der Walze **10** ermittelt werden soll, wobei als Ergebnis der Ausrichtungsmessung der horizontale Verkippungswinkel Δh sowie der vertikale Verkippungswinkel Δv der Walzenachse **20** bezüglich der Referenzrichtung **18** erhalten wird. Die Referenzrichtung **18** wird beispielsweise durch die Orientierung der Achse einer zweiten Walze oder Welle vorgegeben.

Vor Beginn der Messung wird die Sonde **14** auf die Referenzrichtung **18** geeicht, wobei dann einer der optischen Kreisel der Sonde **14** den vertikalen Verkippungswinkel der Sonde **14** und ein anderer optischer Kreisel den horizontalen Verkippungswinkel der Sonde **14** bezüglich der Referenzrichtung **18** erfaßt (der vertikale Verkippungswinkel der Sonde **14** wird im folgenden als "Pitch-Winkel" bezeichnet, während der horizontale Verkippungswinkel der Sonde **14** als "Yaw-Winkel" bezeichnet wird). Der dritte optische

Kreisel der Sonde 14 schließlich erfaßt den Drehwinkel der Sonde 14 um die Referenzrichtung 18 herum bezüglich einer zu der Referenzrichtung 18 senkrecht stehenden Richtung, wobei in Fig. 1 diese Richtung von der Horizontalen gebildet wird und mit 22 bezeichnet ist. Der Winkel, den die Sonde mit dieser Richtung, d. h. der Horizontalen 22, bildet, wird im folgenden als "Roll-Winkel" bezeichnet. Im folgenden sollen also die Begriffe Pitch-, Yaw- bzw. Roll-Winkel die momentane bzw. aktuelle Drehung der Lagemeßsonde um drei im Koordinatensystem der Lagemeßsonde 14 ortsfeste, aufeinander senkrecht stehende Achsen bezeichnen, wobei der Roll-Winkel die Drehung der Sonde 14 um die Referenzrichtung 18 bezüglich der Horizontalen 22 bezeichnet.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform der Sonde 14 ist diese aufgrund der Kontaktflächenzylinder 16 nur auf der Umfangsfläche 12 der Walze 10 verschiebbar, kann jedoch nicht gegenüber der Umfangsfläche 12 verdreht oder verkippt werden, d. h. die Sonde 14 kann nach dem Ansetzen an die Walze 10 nur in der Walzenlängsrichtung und in der Umfangsrichtung der Walze 10 verschoben werden, ist ansonsten jedoch in ihrer Orientierung bezüglich der Walze 10 festgelegt. Diese beschriebene geometrische Festlegung gilt jedoch aufgrund von Oberflächenunebenheiten, Verschmutzung, mechanischer Elastizität etc. nur näherungsweise, wobei die daraus resultierenden Fehler bei kleinen Walzendurchmessern im wesentlichen den Pitch-Winkel betreffen, während sie bei großen Walzendurchmessern im wesentlichen den Yaw-Winkel betreffen.

Abgesehen von diesen Kontaktfehlern ist die Position der Sonde 14 bezüglich der Welle 10 im wesentlichen durch den Winkel auf dem Umfang 12 bezüglich der Walzenachse 20 festgelegt (die Verschiebung entlang der Walzenachse 20 kann für die vorliegenden Zwecke vernachlässigt werden). Dieser Winkel wird im folgenden als "Rotationswinkel ϕ " bezeichnet.

Gemäß Fig. 1 liegt die Sonde 14 im wesentlichen so an der Walze 10 an, daß im Falle von relativ kleinen Fehlorientierungen Δv und Δh der Walze 10 bezüglich der Bezugsrichtung 18 (was den praxisrelevanten Fall darstellt) der Rollwinkel im wesentlichen dem Rotationswinkel ϕ entspricht (bei gleicher Eichung), d. h. der Rollwinkel gibt in die Drehung der Sonde 14 um die zu der Walzenachse 20 annähernd parallele Achse 18 an, während der Pitch-Winkel die Drehung der Sonde 14 um eine im wesentlichen senkrecht zu der Walzenachse 20 stehende und tangential bezüglich der Umfangsfläche 12 verlaufende Achse angibt und der Yaw-Winkel die Drehung der Sonde 14 um eine im wesentlichen senkrecht zu der Walzenachse 20 stehende und parallel bezüglich der Umfangsfläche 12 verlaufende Achse angibt.

Das erfindungsgemäße Meßverfahren beruht im wesentlichen auf der Erkenntnis, daß für Meßpositionen mit unterschiedlichen Rotationswinkeln ϕ unterschiedliche Genauigkeiten für die vertikale bzw. horizontale Fehlorientierung Δv bzw. Δh der Walze 10 bezüglich der Bezugsrichtung 18 auftreten. So kann zwar im Prinzip sowohl die vertikale als auch die horizontale Fehlorientierung Δv bzw. Δh aus einer einzigen Messung z. B. in der in Fig. 1 gezeigten Position ermittelt werden, wobei unter der Annahme, daß die Sonde 14 genau oben auf der Walze 10 liegt, d. h. der Rollwinkel bezüglich der Horizontalen 22 genau 0° beträgt, der gemessene Pitch-Winkel der vertikalen Fehlorientierung Δv und der gemessene Yaw-Winkel der horizontalen Fehlorientierung Δh entspricht. Bei im Verhältnis zu den Abmessungen der Sonde 14 großem Walzendurchmesser korreliert aufgrund von Oberflächenunebenheiten u. ä. der Yaw-Winkel relativ schlecht mit der entsprechenden Walzenorientierung,

während der Pitch-Winkel relativ gut mit der Walzenorientierung korreliert. Demgemäß ist in der in Fig. 1 gezeigten Meßposition die Messung der horizontalen Fehlorientierung Δh mit einem relativ großen Meßfehler behaftet, während sich die vertikale Fehlorientierung Δv relativ genau messen läßt.

Wenn die Sonde 14 jedoch beispielsweise um 90° in Umfangsrichtung nach unten gedreht wird (siehe Fig. 2), dann läßt sich in dieser Position die horizontale Fehlorientierung Δh recht genau messen, während sich die vertikale Fehlorientierung Δv nunmehr relativ ungenau messen läßt, da in dieser Position der gemessene Pitch-Winkel (der wie oben beschrieben gut mit der Walzenorientierung korreliert) der horizontalen Fehlorientierung entspricht, während der schlecht korrelierende Yaw-Winkel nun der vertikalen Fehlorientierung Δv entspricht. Auf diese Weise kann, zumindest solange der Yaw-Winkel relativ klein ist, im Prinzip auf eine Auswertung des Yaw-Winkels verzichtet werden, da der bei unterschiedlichen Rotationswinkeln ϕ gemessene Pitch-Winkel sowohl zur Bestimmung der vertikalen Fehlorientierung Δv als auch der horizontalen Fehlorientierung Δh verwendet werden kann.

Dabei muß die Rotationswinkeldifferenz jedoch nicht notwendigerweise 90° betragen. Vielmehr können auch Messungen in Zwischenpositionen vorgenommen werden. Insbesondere können sich die Meßpositionen gleichmäßig über einen vorgegebenen Bereich des Rotationswinkels verteilen, wie dies in Fig. 2 angedeutet ist. Dabei kann die Meßsonde 14 jeweils einzeln manuell an die verschiedenen Meßpositionen angesetzt werden, oder sie kann nach dem ersten Ansetzen durch manuelles Verschieben entlang der Umfangsrichtung der Walze 10 in die einzelnen Meßpositionen gebracht werden. Alternativ ist es jedoch auch möglich, die Sonde 14 vor Beginn der Messung fest an der Walzenumfangsfläche 12 zu befestigen und dann dadurch in die verschiedenen Meßpositionen zu bringen, indem die Walze 10 um ihre Achse 20 gedreht wird.

In jeder Meßposition werden von der Sonde 14 mindestens der Roll-Winkel und der Pitch-Winkel erfaßt, wobei der Roll-Winkel in einfachsten Fall gleich dem Rotationswinkel gesetzt wird und somit die Abhängigkeit des Pitch-Winkels vom Rotationswinkel für die einzelnen Meßpositionen ermittelt wird. Aus diesen Meßwerten, die sich auf das Koordinatensystem der Sonde 14 beziehen, kann durch eine geeignete Koordinatentransformation in das Koordinatensystem der Walze 10, d. h. das System beispielsweise der Fabrikhalle, die gewünschte vertikale und horizontale Fehlorientierung Δv bzw. Δh der Walze 10 ermittelt werden. Dies ist in Fig. 3 angedeutet, wo die Abhängigkeit des gemessenen Pitch-Winkels von dem Roll-Winkel bzw. Rotationswinkel ϕ in Polarkoordinaten für eine bestimmte vertikale und horizontale Fehlorientierung Δv bzw. Δh der Walze dargestellt ist. Für relativ kleine Fehlorientierungen Δv bzw. Δh ergibt sich dabei als geometrischer Ort, auf dem die Meßdaten bei kontinuierlicher Messung über einen Rotationswinkel von 360° liegen würden, näherungsweise eine Ellipse. Die tatsächlichen Meßwerte des Pitch-Winkels bei unterschiedlichen Roll-Winkeln streuen im Rahmen des jeweiligen Meßfehlers um die theoretisch durch ein bestimmtes Δv und ein bestimmtes Δh vorgegebene Kurve (hier: Ellipse). Aus den ermittelten Meßwerten kann also mittels der Anwendung von Optimierungsverfahren, insbesondere Kurvenanpassung bzw. Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate, der geometrische Ort ermittelt werden, auf dem die Meßdaten bei kontinuierlicher Messung über einen Roll-Winkel bzw. Rotationswinkel von 360° liegen würden, d. h. man erhält als Ergebnis die Parameter der am besten zu den Meßwerten passenden Ellipse.

Aus diesen so ermittelten Kurvenparametern kann nun auf die der ermittelten Kurve zugrunde liegende Fehlorientierung Δv und Δh geschlossen werden (in Fig. 3 ergibt sich Δv und Δh als der Wert bei 0° bzw. 90°). In Fig. 4 ist eine alternative Darstellung zu Fig. 3 gezeigt, in welcher der Wert von Pitch-Winkel mal $\cos(\varphi)$ bzw. Pitch-Winkel mal $\sin(\varphi)$ über dem Roll-Winkel aufgetragen ist.

Das oben beschriebene einfache Modell gilt jedoch nur, solange der Yaw-Winkel relativ klein ist, d. h. solange der Yaw-Winkel durch eine entsprechend gestaltete Kontaktfläche der Sonde 14 relativ genau durch das Anlegen der Sonde 14 an den Walzenumfang 12 durch die Walzenorientierung festgelegt wird. Dies erfordert jedoch, wie oben erwähnt, unter Umständen, vor allem für große Walzendurchmesser, eine aufwendige bzw. unhandliche Gestaltung der Sonde 14. Das oben beschriebene Meßverfahren kann grundsätzlich jedoch auch für Fälle verwendet werden, in welchen der Yaw-Winkel auch nach dem Anlegen der Sonde 14 an die Walze 10 mehr oder weniger undefiniert ist und deshalb auch relativ große Werte annehmen kann. In diesem Fall muß jedoch der Yaw-Winkel bei jeder Messung zusätzlich zu dem Pitch-Winkel und dem Roll-Winkel mit erfaßt werden. Der jeweils gemessene Yaw-Winkel wird dann verwendet, um gegebenenfalls den gemessenen Pitch-Winkel und den gemessenen Roll-Winkel in einen entsprechend bezüglich des gemessenen Yaw-Winkels korrigierten Pitch-Winkel und einen korrigierten Roll-Winkel umzuwandeln, wobei diese korrigierten Werte dann anstelle der gemessenen Werte der oben beschriebenen Auswertung unterzogen werden. Die korrigierten Werte werden aus einer entsprechenden Koordinatentransformation ermittelt.

Da demzufolge der Yaw-Winkel, solange er von der Sonde 14 gemessen wird, nicht durch das Ansetzen der Sonde 14 an den Walzenumfang 12 festgelegt sein muß, kann die Anlagefläche der Sonde 14 im Extremfall einfach als ebene Fläche ausgebildet sein, so daß sich als Kontaktbereich zwischen der Sonde 14 und der Walzenumfangsfläche 12 im wesentlichen nur eine Gerade ergibt, die in der Umfangsfläche 12 liegt und parallel zu der Walzenachse 20 orientiert ist. In diesem Fall ist die Orientierung der Sonde 14 nur noch in einer Raumrichtung, nämlich entlang der Walzenachse 20, durch das Anlegen an den Walzenumfang 12 festgelegt. Diese Ausführungsform der Meßsonde 14 ist in Fig. 2 schematisch angedeutet, wobei die gestrichelten Linien ein Abrollen der Sonde 14 auf dem Umfang 12 der Walze 10 andeuten, was zu einem geänderten Rotationswinkel φ führt.

Eine Verkipfung der Sonde 14 um die Walzenachse 20, d. h. ein Abrollen der Sonde 14 auf dem Walzenumfang 12, entspricht dabei im wesentlichen der Überführung in eine neue Meßposition mit entsprechend anderem Rotationswinkel φ , während eine Verdrehung der Sonde 14 an der Kontaktstelle um eine Achse, die durch die Kontaktgerade geht und senkrecht zu der Walzenachse 20 steht, d. h. eine Änderung des Yaw-Winkels, durch die Messung des Yaw-Winkels und die Berücksichtigung der Auswirkung des Yaw-Winkels auf die Bedeutung des Pitch-Winkels und des Roll-Winkels hinsichtlich der Orientierung der Walze 10 durch die Berechnung des korrigierten Roll-Winkels und des korrigierten Pitch-Winkels kompensiert werden kann. Bei dieser Ausführungsform kann also eine wesentlich vereinfachte Kontaktfläche für die Sonde 14 verwendet werden.

Dieser Ausführungsform der Sonde 14 liegt das allgemeine Konzept zugrunde, daß aus der vollständigen Kenntnis der Lage der Sonde 14 im Raum bezüglich der Referenzrichtungen 18 und 22 in dem Koordinatensystem der Sonde 14 (durch Messung des Pitch-, Yaw- und Roll-Winkels) und der Kenntnis der Form des zu vermessenden Körpers (Zy-

linderfläche) sowie dem Wissen, daß die Sonde 14 in jeder Meßposition auf dieser Zylinderfläche 12 liegt, über entsprechende Koordinatentransformationen die vertikale und horizontale Fehlorientierung Δv bzw. Δh der Walze 10 auch bei "undefiniertem" Yaw-Winkel ermittelt werden können. Maßgeblich hierbei ist, daß die Auswertung der Meßdaten in einem günstig gewählten Koordinatensystem erfolgt, wobei dies ansonsten wie oben beschrieben vorzugsweise durch eine Kurvenanpassung bzw. Ausgleichsrechnung mit theoretisch ermittelten Kurven erfolgt. Gegebenenfalls müssen also, im Unterschied zu der ersten Ausführungsform, die gemessenen Pitch-, Yaw- und Roll-Winkel vor der Auswertung in das entsprechende Koordinatensystem gemäß den oben beschriebenen geometrischen Randbedingungen transformiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln der Ausrichtung eines zylindrischen Körpers (10) bezüglich einer Referenzrichtung (18), wobei mittels einer Lagemeßsonde (14), die auf die Referenzrichtung geeicht ist, in einer ersten Meßposition auf der Umfangsfläche (12) des Körpers eine erste Lagemessung durchgeführt wird und in mindestens einer zweiten Meßposition auf der Umfangsfläche des Körpers, die sich durch ihren Rotationswinkel (φ) in Umfangsrichtung bezüglich der Körperachse von der ersten Meßposition unterscheidet, eine zweite Lagemessung durchgeführt wird und aus den ermittelten Meßdaten die Ausrichtung des Körpers bezüglich der Referenzrichtung errechnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotationswinkeldifferenz zwischen der ersten und der zweiten Meßposition etwa 90 Grad beträgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Meßpositionen vorgesehen ist, die sich im wesentlichen gleichmäßig über einen vorgegebenen Bereich des Rotationswinkels (φ) verteilen.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausrichtung des Körpers (10) durch die Anwendung von Optimierungsverfahren, insbesondere Kurvenanpassung bzw. Ausgleichsrechnung, aus den Meßdaten ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Meßdaten durch Anwendung von Optimierungsverfahren, insbesondere Kurvenanpassung bzw. Ausgleichsrechnung, der geometrische Ort ermittelt wird, auf dem die Meßdaten bei kontinuierlicher Messung über einen Rotationswinkel (φ) von 360 Grad liegen würden und aus den Parametern des so ermittelten geometrischen Orts die Ausrichtung des Körpers (10) ermittelt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagemeßsonde (14) ihre Drehung um drei im Koordinatensystem der Lagemeßsonde ortsfeste, aufeinander im wesentlichen senkrecht stehende Achsen als Pitch-, Yaw- bzw. Rollwinkel bzgl. der Referenzrichtung erfaßt, wobei die Lagemeßsonde in den Meßpositionen so an dem Körper (10) liegt, daß der Roll-Winkel im wesentlichen die Drehung der Sonde um eine zu der Körperachse (20) annähernd parallele Achse, der Pitch-Winkel die Drehung der Sonde um eine im wesentlichen senkrecht zu der Körperachse stehende und tangential bezüglich der Umfangsfläche verlaufende Achse und der Yaw-Winkel die Drehung der Sonde um eine im wesentlichen senkrecht zu der Kör-

perachse stehende und parallel bezüglich der Umfangsfläche verlaufende Achse angibt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Meßposition der Pitch-Winkel erfaßt wird und die Ausrichtung des Körpers (10) aus der so ermittelten Abhängigkeit des Pitch-Winkels vom Rotationswinkel (ϕ) ermittelt wird. 5

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Meßposition der zugehörige Rotationswinkel (ϕ) als der von der Lagemeßsonde (14) erfaßte Roll-Winkel angenommen wird. 10

9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Meßposition von der Lagemeßsonde (14) der Roll-Winkel, der Pitch-Winkel und der Yaw-Winkel erfaßt werden, um einen korrigierten Pitch-Winkel und einen korrigierten Roll-Winkel, der dem Rotationswinkel (ϕ) entspricht, zu berechnen, die statt der gemessenen Werte bei der Berechnung der Ausrichtung des Körpers (10) verwendet werden. 15

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Yaw-Winkel verwendet wird, um aus dem gemessenen Pitch-Winkel den korrigierten Pitch-Winkel zu berechnen und um aus dem gemessenen Roll-Winkel den korrigierten Roll-Winkel zu berechnen. 20

11. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß bezüglich der einzelnen Meßpositionen keine wesentliche Drehung oder Verkipfung der Lagemeßsonde (14) bezüglich der Umfangsfläche (12) des Körpers (10) erfolgen kann. 25

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagemeßsonde (14) vor der Messung fest an dem Körper (10) angebracht wird und durch Rotation des Körpers um seine Körperachse (20) in die jeweilige Meßposition gebracht wird. 30

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagemeßsonde (14) durch manuelles Ansetzen, insbesondere durch Verschieben in Umfangsrichtung des Körpers (10), in die einzelnen Meßpositionen gebracht wird. 35

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansatzseite der Lagemeßsonde so ausgebildet ist, daß die Lagemeßsonde nach dem Ansetzen an den Umfang (12) des Körpers (10) nur in Körperlängsrichtung und in Umfangsrichtung des Körpers verschiebbar ist, ansonsten in ihrer Orientierung bezüglich des Körpers fest ist. 40

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansatzseite der Lagemeßsonde (14) zwei parallele, in Abstand voneinander angeordnete Ansatzflächen (16) aufweist. 45

16. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansatzseite der Lagemeßsonde (14) im wesentlichen als eine ebene Fläche ausgebildet ist. 50

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagemeßsonde (14) mindestens einen optischen Kreisel enthält. 55

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

60

65

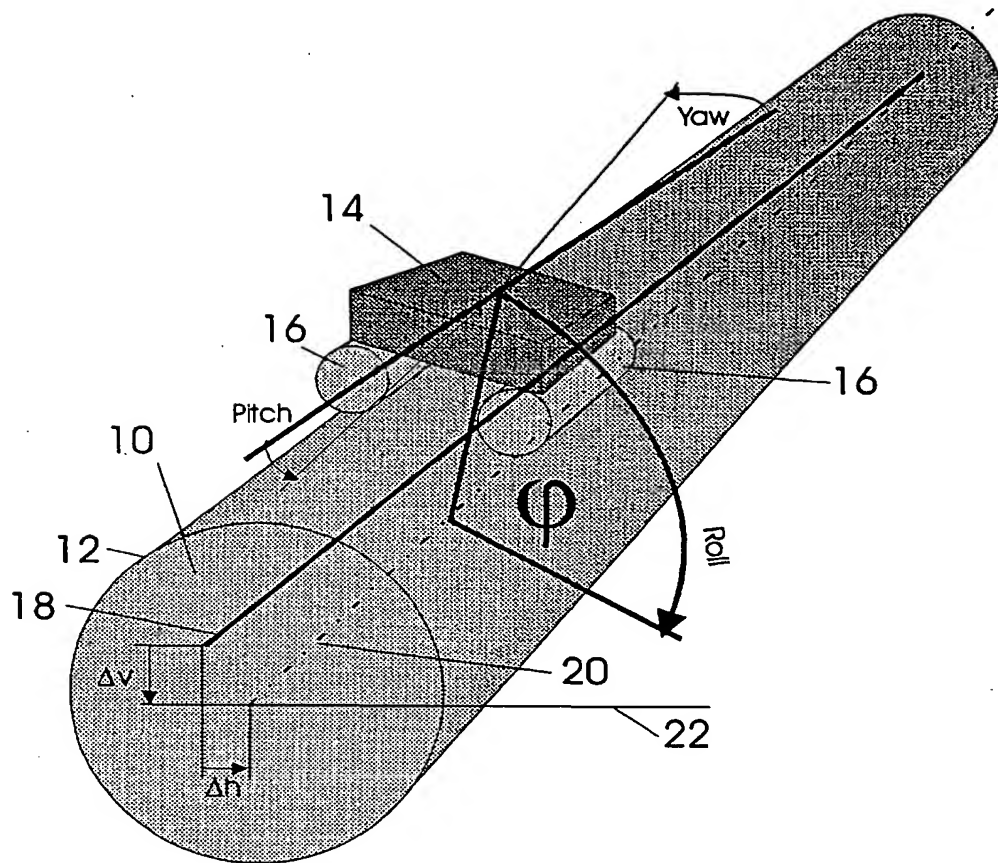


Fig. 1

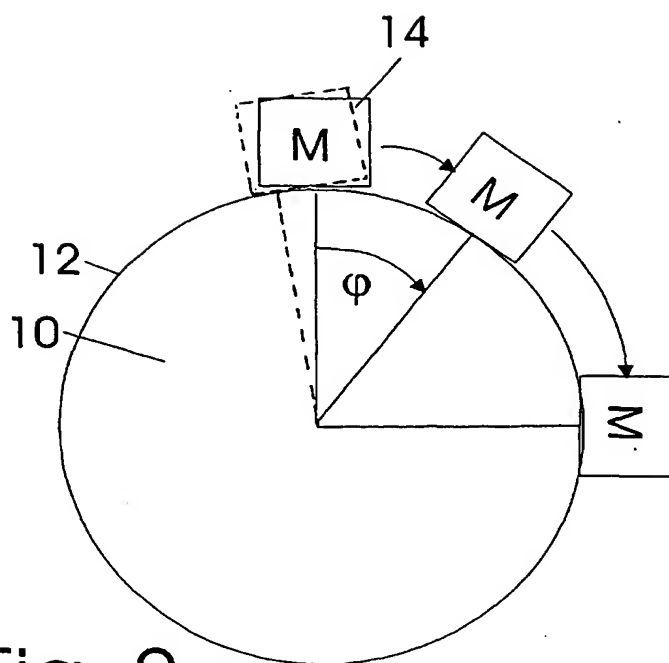


Fig. 2

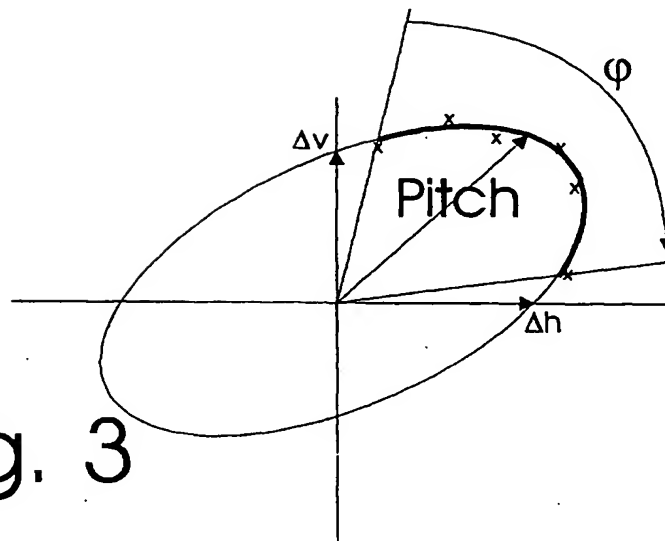


Fig. 3

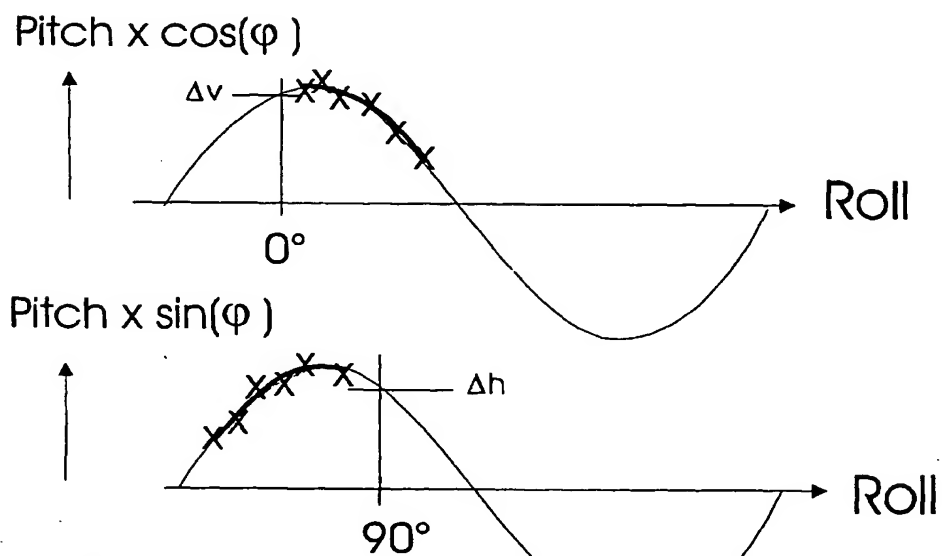


Fig. 4